

# APENDICE A

## Acrónimos

ACK	Reconocimiento
BEB	Binary Exponential Backup
CDMA	Múltiple Acceso por División de Códigos
CLUSTERPOW	Control Común de Potencia en Conjuntos
COMPOW	Control Común de Potencia
CTS	Libre para Enviar
DIFS	Función Distribuida de Coordinación
DTROC	Canal Transmisor Distribuido TDMA
GHT	Tabla Geográfica de Solicitudes
GPRS	Ruteo Avaro Perimentral sin Estados
ID	Identificación
LEACH	Low Energy Adaptative Clustering Hierachy
MACA	Acceso al Medio/ Evitando Colisiones
MEMS	Sistemas Micro Electro-Mecánicos
MEP	Enlace de Exposición Mínimo
ML	Multiple Lateración
Nodo Central	Nodo que efectu tareas de Computo más complejas
NTIP	Protocolo de Tiempo de Red
	Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems
PEGASIS	
RF	Radio Frecuencia
RTS	Listo para Enviar
SIFS	Espacio Interframe Espaciado
TDMA	Múltiple Acceso por División de Tiempo
UIDS	Identificadores unicos de Nodos
UTC	Tiempo Universal Coordinado

Tabla. Diferencias entre redes celulares y redes inalámbricas Ad hoc.

<b>Red Celular</b>	<b>Red Inalámbrica Ad hoc</b>
Con Infraestructura base	Sin infraestructura base
Enlaces Inalámbricos de un salto	Enlaces Inalámbricos multi-saltos
Ancho de Banda garantizado (diseñado para tráfico de voz)	Canal de radio compartido (realiza el mejor esfuerzo posible en cuanto al tráfico de información)
Ruteo Centralizado	Ruteo Distribuido
Conmutación por Circuitos	Conmutación por Paquetes
Conexión continua (baja probabilidad de falla durante hand-offs )	Frecuente pérdida de la conexión por la movilidad
Alto costo y tiempo de despliegue	Costo efectivo y rápido despliegue
Reuso del espectro de frecuencia a través del reuso geográfico del canal	Reuso dinámico de la frecuencia en base a mecanismos de sensado de portadora
Facilidad para la sincronización en tiempo	Tiempo de sincronización es difícil y consume ancho de banda.
Facilidad para reservar ancho de banda	Reservación del ancho de banda requiere protocolos complejos de control de acceso al medio.
Dominios de aplicación incluye principalmente sectores civiles y comerciales	Aplicaciones incluye campos de batalla, colaboración distribuida, operaciones de rescate y búsqueda.
Alto costo de mantenimiento	La auto organización y mantenimiento son propiedades dentro de la red ya establecidas.
Nodos móviles tiene relativa complejidad	Nodos requieren de mayor inteligencia ( deben tener un transceptor junto con la capacidad de ruteo y switcheo)
Principales propósitos es el ruteo y la admisión de la llamada para maximizar la razón de aceptación de llamada y minimizar la pérdida de las mismas	Ruteo mínimo y de fácil re configuración.

## **Asuntos en Redes Inalámbricas Ad hoc**

### Acceso al Medio

El principal propósito del protocolo de acceso al medio en una red inalámbrica Ad hoc es el de arbitrar distribuidamente el canal compartido para la transmisión de los paquetes.

Es importante a su vez, tener en consideración los siguientes rubros para el diseños de un protocolo MAC en redes inalámbricas Ad hoc son:

1. Operación Distribuida: En las redes inalámbricas Ad hoc, existe la necesidad de operar en ambientes donde una coordinación centralizada se imposible. El protocolo MAC (control de acceso al medio)deberá ser completamente distribuido.
2. Sincronización: El protocolo MAC deberá considerar el requerimiento de tiempo de sincronización. Esto es mandatorio para sistemas basados en TDMA para el manejo de las ranuras de transmisión y recepción. Involucrando el ancho de banda y la energía almacenada en la batería. El control de paquetes usados para la sincronización también incrementa la probabilidad de colisiones en la red.
3. Terminales Ocultas: Las terminales ocultas son nodos no visibles (o no alcanzables) para aquel que envía la información en una sesión de transmisión, pero, es alcanzable para el receptor de la sesión. En tal caso, la terminal oculta puede generar colisiones en el nodo receptor. La presencia

de las terminales ocultas reducen considerablemente a la salida del protocolo MAC en las redes inalámbricas Ad hoc.

4. Terminales Expuestas: A estas terminales que se encuentran en el rango de transmisión del que envía en una sesión activa, se les indica que la transmisión se lleva a cabo evitando así las colisiones en la transferencia de datos.
5. Salida: El protocolo MAC deberá tratar de maximizar la salida del sistema. Las consideraciones importantes es el minimizar la ocurrencia de colisiones y maximizar la utilización del canal.
6. Retardo en el Acceso: Se refiere al tiempo promedio que le toma a un paquete cualquiera ser transmitido. El protocolo MAC deberá tratar de minimizar el retraso.
7. Consistente: Se refiere a la habilidad del protocolo MAC para brindar un uso compartido de los recursos entre los nodos competidores. Esto en base al tipo de nodo o al tipo de flujo de dato que se tienen por transmitir o recibir.
8. Soporte de tráfico en tiempo real: Es un ambiente basado en contención para el acceso al canal, sin una coordinación central, con un ancho de banda limitado y una contención dependiente de la localización del nodo, y un soporte de sensado en tiempo real de datos, voz y video.
9. Reservación de los recursos: Proveer calidad de servicio definido con respecto a parámetros como el ancho de banda, retraso y etc.... requieren reservación de los recursos como la potencia de procesamiento, el espacio del buffer, entre otros.

De igual manera, la movilidad de los nodos en las redes inalámbricas Ad hoc hacen que la reservación de los recursos sea una tarea difícil.

10. Habilidad para medir la capacidad de los recursos: El protocolo MAC debe hacer una estimación para el manejo efectivo de los recursos como el ancho de banda, y la realización del control de admisión de cada nodo.
11. Capacidad para el control de potencia: El control de la potencia de transmisión reduce el consumo de la energía en los nodos, causando una baja de interferencia a los nodos vecinos e incrementa el reuso de frecuencias.
12. Control adaptativo de tasa: Se refiere a la variación en la tasa de datos de bit que se alcanza en el canal. Un protocolo MAC que tenga un control adaptativo puede lograr que el receptor y el transmisor que se encuentren muy cerca experimenten una alta tasa de transferencia de datos y viceversa.
13. Uso de antenas direccionadas: Entre otras ventajas incluye el aumento en el reuso del espectro, reducción de interferencia y reducción en el consumo de energía.

## Ruteo

La responsabilidad de un protocolo de ruteo es el intercambio de información, encontrando el camino más confiable para alcanzar el destino deseado teniendo en consideración la distancia, el requerimiento mínimo de energía y el tiempo de vida del enlace inalámbrico; búsqueda de la información en el caso de que la conexión

falle; reparación de los enlaces caídos gastando el mínimo de potencia de procesamiento y ancho de banda; y mínimo uso del ancho de banda.

Los temas de gran relevancia a los que un protocolo de ruteo se enfrenta son:

- a) *Movilidad*: Una de las propiedades más importantes de las redes inalámbricas Ad hoc es la movilidad asociada a los nodos. La movilidad de los nodos resulta en frecuente rompimiento de los enlaces, colisiones de los paquetes, falta de información de ruteo actual y dificultada para la reservación de recursos.
- b) *Ancho de Banda*: Dado que el canal es compartido por todos los nodos en la región de radio difusión, el ancho de banda disponible por enlace inalámbrico depende del número de nodos y la cantidad de tráfico a manejar. Así tan solo una fracción del ancho de banda total es disponible para cada nodo.
- c) *Tendencia de error y canal compartido*: La tasa de error de bit (BER) en un canal inalámbrico es muy alto (en orden de  $10^{-5}$  a  $10^{-3}$ ) comparado con su contraparte alámbrica (en orden de  $10^{-12}$  a  $10^{-9}$ ). Para el diseño de un protocolo de comunicación se debe tener en cuenta el estado del enlace inalámbrico, la razón señal a ruido y la pérdida de enlace de ruteo en la red.
- d) *Contención dependiente de Locación*: La carga en el canal inalámbrico varía con respecto al número de nodos presentes en una región geográfica dada. Por lo que a medida que el número de nodos se incremente la contención

será mayor. Un buen protocolo de ruteo debe construir un mecanismo para la distribución uniforme de la carga a través de la red.

Los requerimientos más primordiales de un protocolo de ruteo en una red inalámbrica Ad hoc son los siguientes:

➤ Mínimo retraso de adquisición de ruteo:

El retraso de adquisición de ruteo para un nodo no tiene una ruta en particular para un nodo destino, buscando siempre la distancia mínima posible.

➤ Rápida re-configuración de ruteo:

Cambios impredecibles en la topología de la red requiere un protocolo capaz de actuar rápidamente en el ruteo, para manejar cuando los enlaces fallen y los paquetes se pierdan.

➤ Ruteo distribuido:

La red deberá ser completamente distribuida de lo contrario un ruteo centralizado podría consumir una gran cantidad de ancho de banda.

➤ Escalabilidad:

Es la habilidad de un protocolo de ruteo para que el incremento en el número de nodos no afecte la eficiencia del desempeño de la red.

➤ Soporte para el tiempo sensible de tráfico:

Comunicaciones Tácticas y de igual aplicación se requiere un protocolo capaz de cumplir con los requerimientos de tráfico en tiempo real.

➤ Seguridad y Privacidad:

El protocolo de ruteo deberá de soportar ataques a la red, evitar vulnerabilidades, e impersonificación de miembros en la red. Se debe emplear los recursos necesarios para negar el servicio a intrusos.

### Multicasting

Multicasting juega un papel muy importante para las aplicaciones típicas de las redes inalámbricas Ad hoc, ya sean de búsqueda y rescate de personas, operaciones militares, etc. En tal caso, los nodos de la red forman grupos que llevan acabo ciertas tareas que requieren comunicación de voz y datos ya sea punto a multipunto o multipunto a multipunto. En suma, el movimiento arbitrario de los nodos, la limitante energética y el ancho de banda, hacen del ruteo multicast todo un reto.

Los tipos protocolos multicast para redes alámbricas como el de árboles basado en núcleo (core based trees CBT), el protocolo independiente multicast (PIM) y el protocolo de ruteo multicast en base a la distancia de vectores (DVMRP) no tienen un buen desempeño en redes inalámbricas Ad hoc ya que su estructura es muy inestable y necesita frecuentemente ajustes en enlaces caídos. El uso de un



simple enlace de conectividad entre los nodos en un grupo multicast resulta en una topología de ruteo tipo árbol. Ésta topología provee alta eficiencia multicast, con una tasa de entrega de paquetes baja debido a los corte que se tienen en un topología de árbol.

Los parámetros a considerar en el diseño de protocolos de ruteo multicast son:

- Robustez: El protocolo de ruteo multicast, debe de ser capaz de recobrase y reconfigurarse rápidamente de potenciales rompimientos en los enlaces que presentan el fenómeno de movilidad.
- Eficiencia: Las transmisiones de entrega de paquetes que el protocolo efectúe deben ser las mínimas a todos los nodos que pertenecen al grupo.
- Calidad del servicio: Es vital el soporte de la calidad de servicio, más que nada porque en la mayoría de los casos, los datos que se transfieren en la sección multicast son sensibles al tiempo.
- Manejo eficiente del grupo: Se refiere al proceso de aceptación de los nodos del grupo a la sesión multicast y el mantenimiento de la conectividad entre ellos aun cuando la sesión expire.

- Escalabilidad: El protocolo deberá ser capaz de ser escalable para una red con un mayor número de nodos.
- Seguridad: Autenticación en la sesión de los nodos del grupo y la prevención de nodos ajenos a éste, evitando que tenga autorización y tomen parte de las tareas de comunicación.

### Protocolos en la Capa de Transporte

Los principales objetivos de los protocolos de la capa de transporte incluyen el establecimiento y mantenimiento de las conexiones fin a fin, entrega confiable de paquetes de información, control de flujo y congestión.

Aun así, existen protocolos en la capa de transporte, los cuales son sin conexión (UDP Ser Datagram Protocol). Al igual que TCP (Transmission Control Protocol) corren en lo alto de las redes IP. Solo que a diferencia de TCP, UDP provee muy pocos servicios de recuperación ante errores, porque no se cuenta con un control e flujo y congestión. Este protocolo no toma en cuenta la situación actual de la red, por lo que no se conoce la tasa de colisión, la congestión en los enlaces intermedios, entre otros factores afectando la salida del sistema.

Por ejemplo, en redes inalámbricas Ad hoc, se emplea un protocolo de contención basado en protocolos MAC, para que no se incremente la carga en la red y se degrade el desempeño de la misma.

En contra parte, la mayor degradación que enfrenta un protocolo orientado a conexión como lo es TCP en una red inalámbrica Ad hoc yace debido a los frecuentes rompimientos de las rutas de enlace, el decaimiento de información actual de ruteo, particiones en la red y un tasa de error en el canal de comunicación.

Como resultado de la movilidad de los nodos y un rango de transmisión limitado, el enlace actual para el ruteo de la información puede presentar fallas. Cada enlace entre nodo fuente y el nodo destino que falle involucrará la re-configuración de la ruta de enlace que depende del protocolo que se emplee de ruteo. El proceso de búsqueda de una ruta de enlace alternativa o de re-configuración de la misma provoca que se tome un mayor tiempo, esto si se compara con el tiempo que lleva una retransmisión al destinatario, teniendo una duplicidad de paquetes y la necesidad de utilizar un algoritmo de control de congestión. Por ende, nuestra salida se verá reducida ya que a medida que los enlaces falles, será necesario emplear el algoritmo mencionado.

La inactivada de los nodos asociada con la re-configuración de los enlaces perdidos conlleva que no se tenga la información actualizada en los nodos. Así los paquetes se enviarán como *forwards* por diversas rutas al destinatario, causando un

incremento en el número de paquetes fuera de orden. De igual forma, protocolos de ruteo multi-ruta se emplean para los enlaces múltiples entre la fuente y destino como TORA (Temporally-ordered routing algorithm). En sí, los paquetes que lleguen fuera de orden llegan al destinatario obligan al mismo que genere reconocimientos (ACK's) y al tener un duplicado, la fuente (nodo que envía) evoca al algoritmo de control de congestión.

### **Capa de Enlace de Datos ("Data Link layer").**

Puede decirse que esta capa traslada los mensajes hacia/desde la capa física a la capa de red (que veremos a continuación). Especifica como se organizan los datos cuando se transmiten en un medio particular. P.E. esta capa define como son los cuadros ("Frames"), las direcciones y las sumas de control ("Checksum") de los paquetes Ethernet.

Además del direccionamiento local, se ocupa de la detección y control de errores ocurridos en la capa física, del control del acceso a dicha capa y de la integridad de los datos y fiabilidad de la transmisión. Para esto agrupa la información a transmitir en bloques ("Frames"), e incluye a cada uno una suma de control que permitirá al receptor comprobar su integridad. Los datagramas recibidos son comprobados por el receptor. Si algún data grama se ha corrompido se envía un mensaje de control al remitente solicitando su reenvío. El protocolo PPP [1] es ejemplo de esta capa.


La capa de enlace puede considerarse dividida en dos subcapas:

- Control lógico de enlace LLC("Logical Link Control") define la forma en que los datos son transferidos sobre el medio físico, proporcionando servicio a las capas superiores.
- Control de acceso al medio MAC ("Medium Access Control"). Esta subcapa actúa como controladora del hardware subyacente (el adaptador de red). De hecho el controlador de la tarjeta de red es denominado a veces "MAC driver", y la dirección física contenida en el hardware de la tarjeta es conocida como dirección MAC ("MAC address"). Su principal tarea (que le proporciona el nombre -control de acceso-) consiste en arbitrar la utilización del medio físico para facilitar que varios equipos puedan competir simultáneamente por la utilización de un mismo medio de transporte. El mecanismo CSMA/CD ("Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection") utilizado en Ethernet es un típico ejemplo de esta subcapa.

### **Capa de Red ("Network layer")**

Esta capa se ocupa de la transmisión de los datagramas (paquetes) y de encaminar cada uno en la dirección adecuada ("Routing"), tarea esta que puede ser complicada en redes grandes como Internet, pero no se ocupa para nada de los errores o pérdidas de paquetes. Por ejemplo, define la estructura de direcciones y rutas de Internet. A este nivel se utilizan dos tipos de paquetes: paquetes de datos y paquetes de actualización de ruta. Como consecuencia esta capa puede considerarse subdividida en dos:

- Transporte. Encargada de encapsular los datos a transmitir (de usuario). Utiliza los paquetes de datos.

En esta categoría se encuentra el protocolo IP ("Internet Protocol" A3.1).

- Conmutación ("Switching"): Esta parte es la encargada de intercambiar información de conectividad específica de la red (su actividad es raramente percibida por el usuario). Los ruteadores son dispositivos que trabajan en este nivel y se benefician de estos paquetes de actualización de ruta. En esta categoría se encuentra el protocolo ICMP ("Internet Control Message Protocol"), responsable de generar mensajes cuando ocurren errores en la transmisión y de un modo especial de eco que puede comprobarse mediante PING.

